

厚物構造用合板を用いた高強度耐力壁の開発 — 試験結果速報 —

森林総研 青木謙治

1. 目的

中大規模木造建築物での使用を想定し、従来よりも高強度、高耐力の耐力壁の開発を行う。用いる部材断面を大きくし、厚物構造用合板を通常よりも密に釘打ちすることで、従来性能に比べて 3~4 倍程度の性能をめざす。

2. 試験仕様概略

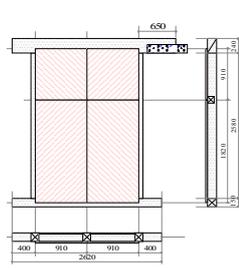
用いた部材の仕様は以下の通りで、表 1 に示す全 9 体を実施した（各仕様 1 体）。7 体は大壁仕様（直張り）で、2 体は真壁仕様である。用いる合板は、全層スギの 24mm 厚構造用合板（JAS 特類 2 級）で、試験体仕様により 3×6 版もしくは 4×8 版を使用した（図 1 参照）。面材の留め付けには CN75 釘を用い、通常よりも釘間隔を狭めて施工することにより高耐力を期待した。

- 柱 : JAS 構造用集成材（同一等級構成、E55-F225）、樹種：スギ、断面：150mm 角
 土台 : JAS 構造用集成材（同一等級構成、E55-F225）、樹種：スギ、断面：150mm 角
 梁 : JAS 構造用集成材（対称異等級構成、E55-F200）、樹種：スギ、断面：150×240mm
 胴つなぎ : JAS 構造用集成材（同一等級構成、E55-F225）、樹種：スギ、断面：120mm 角（⑥のみ 120×150mm を使用）（真壁の貫、受材、間柱、胴つなぎにはヒノキ製材を使用）
 合板 : JAS 構造用合板（特類 2 級）、樹種：スギ、厚さ 24mm（7ply）、
 試験体により 910×1820mm（3×6 版）又は 1220×2440mm（4×8 版）を使用
 釘 : CN75（真壁の受材留め付けには CN90 を使用）

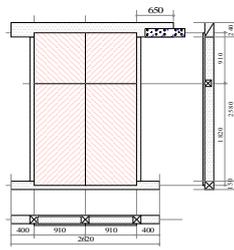
表 1 耐力壁の仕様一覧

| No. | 高さ | モジュール | 合板 | 合板サイズ | 接合仕様 | 大壁／真壁 | 備考 |
|-----|------|-------|--------|-------|------------|-------|------------|
| ① | 2730 | 910 | t24_片面 | 3×6 | CN75@100 | 大壁 | 通常（5倍認定） |
| ② | 2730 | 910 | t24_片面 | 3×6 | CN75@50×2列 | 大壁 | 高倍率化 |
| ③ | 3030 | 910 | t24_片面 | 3×6 | CN75@50×2列 | 大壁 | 壁高 3030 |
| ④ | 3500 | 910 | t24_片面 | 3×6 | CN75@50×2列 | 大壁 | 壁高 3500 |
| ⑤ | 3500 | 1200 | t24_片面 | 4×8 | CN75@50×2列 | 大壁 | 1200 モジュール |
| ⑥ | 3500 | 1200 | t24_両面 | 4×8 | CN75@50×2列 | 大壁 | 両面張り |
| ⑦ | 3500 | 1200 | t24_片面 | 4×8 | CN75@50×2列 | 大壁 | 横張り |
| ⑧ | 3500 | 1200 | t24_片面 | 4×8 | CN75@50 | 受材真壁 | |
| ⑨ | 3500 | 1200 | t24_片面 | 4×8 | CN75@50 | 貫真壁 | |

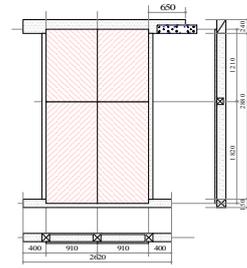
①：高さ2730mm、910Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@100 ②：高さ2730mm、910Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@50×2列 ③：高さ3030mm、910Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@50×2列



試験体 No.1

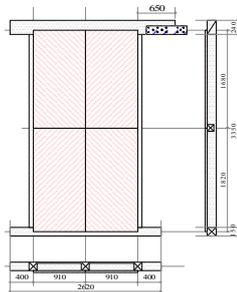


試験体 No.2

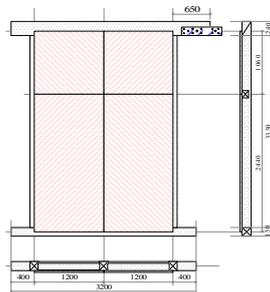


試験体 No.3

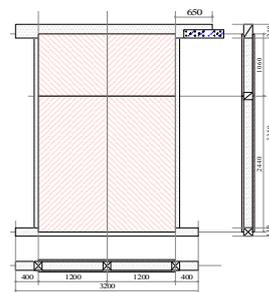
④：高さ3500mm、910Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@80×2列 ⑤：高さ3500mm、1200Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@50×2列 ⑥：高さ3500mm、1200Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@50×2列



試験体 No.4

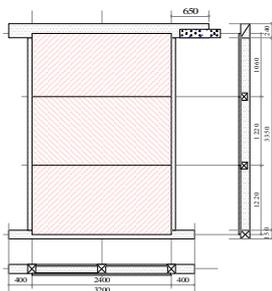


試験体 No.5

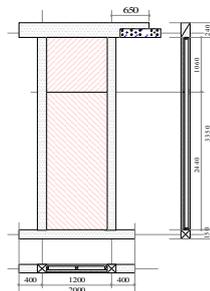


試験体 No.6

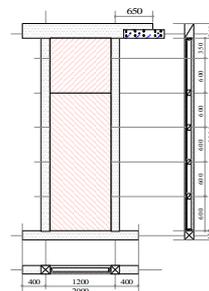
⑦：高さ3500mm、1200Eジュール、24mm厚合板、大壁片面張り、CN75@80×2列 ⑧：高さ3500mm、1200Eジュール、24mm厚合板、受材真壁仕様、CN75@80-100 ⑨：高さ3500mm、1200Eジュール、24mm厚合板、真真壁仕様、CN75@80-100



試験体 No.7



試験体 No.8



試験体 No.9

図1 試験体の構成

3. 試験方法

一般的に用いられる耐力壁の試験法・評価法に準拠して試験を行った。なお、繰り返し履歴は、試験方法書では1/50radまでであるが、本試験では1/30radでも実施している。

なお、柱脚柱頭には軸組の先行破壊を防ぐ目的でHD金物を使用しているが、高耐力が予想されるため、柱脚には許容引張耐力30kN相当のHD金物を仕様に応じて4~6個設置し、柱頭へは1個設置した。また、柱が土台へ過度にめり込むのを防ぐ目的で、柱脚のHD金物を、通常の引張力だけでなく、圧縮力にも効かせるような工夫をしている。

4. 試験結果

荷重と見かけのせん断変形角の関係は図2の通りである。図中、赤線は完全弾塑性モデル化に使用した包絡線を示す。なお、No.1 は変形性能が高いため、グラフの横軸が他と大きく異なる。また、No.8,9 は 1P 分の耐力壁で実施しているため、グラフの縦軸をその他のグラフの半分になっている。

①は国土交通大臣認定を取得した“スタッドレス 5+”の試験結果とほぼ同様の履歴を示し、最大荷重が約 50kN 程度で最大荷重以降の粘りも十分ある理想的な履歴曲線を示した。破壊性状は釘の引き抜け、パンチング、折損が混在していた。

②③は、狙い通り剛性、耐力も高く、最大荷重は 160kN 程度を記録。釘接合部の変形があまり見られず、②では変形角 1/20rad の繰り返しの途中で柱脚の HD 金物が数本破断し、最終的には合板に引っ張られるように土台が割裂し、さらに合板のせん断破壊により荷重が上がらなくなった。③では HD 金物の破断はなかったものの、最大荷重で一気に合板のせん断破壊と柱の割裂が起きて荷重低下するという結果になった。④は壁長/壁高さ比が最も大きく、柱脚の HD 金物接合部に大きな負荷がかかることが予想されたが、1/30rad の 1 回目の負加力（押し側）で柱の HD 金物上端部付近で曲げ破壊を生じた。

⑤からはモジュールを 1200mm に変更して実施したため、耐力は高くなるが、柱脚接合部が厳しいのは同様であった。破壊は 1/30rad の 1 回目の正加力時（引き側）で柱の HD 金物取り付け部分がせん断破壊を起こし、一気に荷重が低下した。⑥は両面張りのため、更に高耐力が期待されるところであるが、軸組材及びその接合部分が先行破壊することが予想され、その通りの結果となった。耐力的には最も高くなったが、1/50rad の 1 回目正加力時に HD 金物のボルトが破断して終了となった。⑦は横張りにした関係で合板同士の摩擦音が大きく感じられた。破壊は 1/30rad の一回目の負加力時にボルト破断と金物留付用ビスの集合型破壊により荷重低下した。

⑧,⑨は真壁仕様で、1P であることと合板が筋かいのように軸組内で突っ張ることから、柱脚には過度な引き抜き力が生じると予想したが、⑧では予想以上に粘り強い挙動を示した。1/50rad でも HD 金物の変形は少なく柱が曲げ変形していた。1/30rad 時で最大荷重を記録したが、同時に受材を留め付ける釘が引き抜かれ始め、合板角部は横架材に大きくめり込んだ（軸材がスギだったことが理由か?）。最終的には柱頭のほぞ接合部が変形した HD 金物に押されるような形でせん断破壊して試験終了となった。⑨では 1/30rad の一回目の負加力側で HD 金物取り付け部の柱が曲げ破壊し、ビス先端部付近で柱の繊維方向に割裂線が延びていた。

方法書に則り、図1中の赤線で示した包絡線より完全弾塑性モデル化して試験荷重を求め、短期基準せん断耐力を算定し、壁倍率評価を行った(表2,3)。なお、評価にあたっては、せん断変形角 1/15rad (0.067rad) を越える全ての測定データを解析対象とし、包絡線はエネルギー吸収が最大となるように極大値を通るよう選択した。

その結果、①は大臣認定で5倍の仕様であるが、これまでも実験的には7倍強の数値が得られている事や、1/15radを超える範囲のデータも解析対象としたことから、本試験における倍率は8.1倍という高い数値が得られた。②～⑦は、最大荷重や降伏荷重などは①の3～4倍程度の値が得られたが、破壊が脆性的で粘りに乏しかった事から終局荷重を元にした試験荷重が低く評価されてしまい、倍率としては①の2倍前後の値になった。⑧⑨は、釘打ち本数が大壁仕様の半分であることや、受材等と軸組との緊結もそれほど強固でなかったことから、倍率は大壁仕様程高くはならなかった。

なお、軸組や接合部が先行破壊せずに推移し、降伏耐力が倍率決定因子になったと仮定すると、倍率は軒並み20倍を超えるものとなるため、今後は高倍率耐力壁用の柱脚柱頭接合金物についても検討を加える必要がある。また、今回の実験では釘接合部の変形がほとんど見られないうちに合板がせん断破壊したり軸組材が破壊したりしたため、面材の釘打ち間隔を少し緩和し、釘接合部が変形してエネルギー吸収が大きくなるような仕様変更についても検討する必要がある。

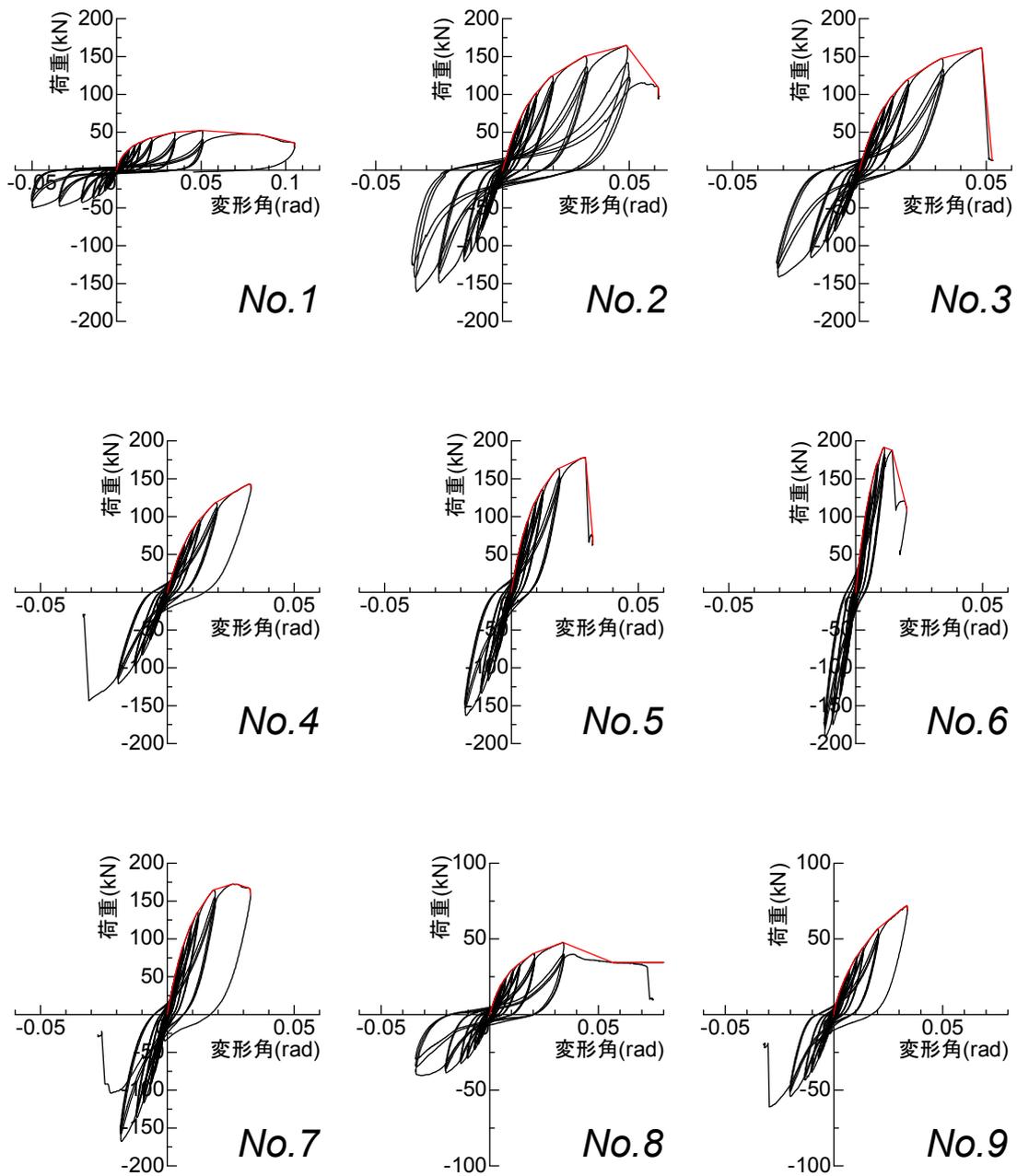


図 2 荷重と見かけのせん断変形角の関係

表 2 試験結果一覧

| | P_{max} (kN) | $\delta_{P_{max}}$ ($\times 10^3$ rad) | P_y (kN) | δ_y ($\times 10^3$ rad) | P_u (kN) | δ_u ($\times 10^3$ rad) | K (kN/rad) | $Energy$ (kN·rad) | D_s |
|---|-------------------|--|---------------|------------------------------------|---------------|------------------------------------|-----------------|----------------------|-------|
| ① | 52.35 | 50.3 | 28.72 | 7.97 | 47.88 | 94.3 | 3604 | 4.20 | 0.275 |
| ② | 164.70 | 48.7 | 90.56 | 10.8 | 146.79 | 56.4 | 8416 | 6.99 | 0.428 |
| ③ | 161.40 | 48.0 | 87.41 | 10.6 | 143.18 | 49.1 | 8271 | 5.80 | 0.462 |
| ④ | 143.10 | 32.3 | 78.09 | 8.86 | 125.44 | 33.1 | 8815 | 3.26 | 0.523 |
| ⑤ | 178.40 | 29.2 | 95.94 | 6.50 | 160.90 | 30.2 | 14761 | 3.98 | 0.470 |
| ⑥ | 191.60 | 11.1 | 104.34 | 3.96 | 176.23 | 17.0 | 26340 | 2.40 | 0.495 |
| ⑦ | 172.55 | 25.9 | 93.81 | 6.56 | 161.54 | 32.9 | 14309 | 4.40 | 0.455 |
| ⑧ | 47.55 | 33.5 | 25.40 | 7.86 | 42.06 | 50.3 | 3232 | 1.84 | 0.385 |
| ⑨ | 71.90 | 33.4 | 36.59 | 9.57 | 61.78 | 33.8 | 3821 | 1.59 | 0.560 |

表 3 短期基準せん断耐力と倍率評価

| | 試験荷重(kN) | | | | 短期基準せん断 耐力： P_0 (kN) | 倍率 |
|---|----------|----------------|--------------|-------------|---------------------------|------|
| | P_y | $P_u(0.2/D_s)$ | $2/3P_{max}$ | $P_{1/120}$ | | |
| ① | 28.72 | 34.78 | 34.90 | 29.40 | 28.72 | 8.1 |
| ② | 90.56 | 68.62 | 109.80 | 77.24 | 68.62 | 19.2 |
| ③ | 87.41 | 61.98 | 107.60 | 75.83 | 61.98 | 17.4 |
| ④ | 78.09 | 47.95 | 95.40 | 74.95 | 47.95 | 13.4 |
| ⑤ | 95.94 | 68.53 | 118.93 | 112.43 | 68.53 | 14.6 |
| ⑥ | 104.34 | 71.13 | 127.73 | 169.44 | 71.13 | 15.1 |
| ⑦ | 93.81 | 70.94 | 115.03 | 110.33 | 70.94 | 15.1 |
| ⑧ | 25.40 | 21.83 | 31.70 | 26.30 | 21.83 | 9.3 |
| ⑨ | 36.59 | 22.06 | 47.93 | 33.25 | 22.06 | 9.4 |

短期基準せん断耐力 P_0 は試験体 1 体あたりの耐力を表し、倍率は壁長 1m あたりの値として小数第 2 位を四捨五入して求めた。

以下、試験の様子や破壊の様子を写真で示す。



写真1 No.①の試験終了時



写真2 釘接合部の破壊 (パンチング)



写真5 No.②の試験開始時



写真6 密な釘打ち (CN75@50×2 列)



写真7 No.②の破壊 (ボルト破断と土台の割裂)

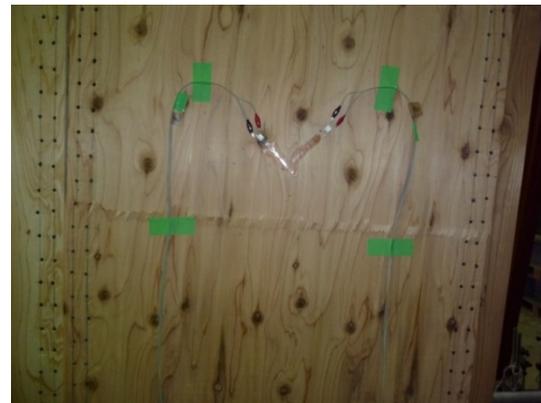


写真8 No.②の破壊 (合板のせん断破壊)



写真9 No.③の試験終了時



写真10 No.③の破壊（合板のせん断破壊）



写真11 No.③の破壊（柱の割裂）

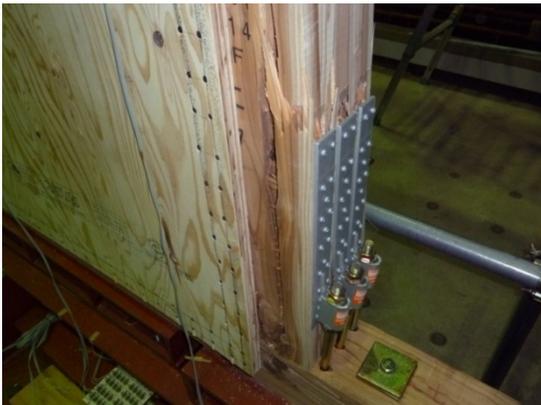


写真12 No.④の破壊（柱の曲げ破壊）



写真13 No.⑤の破壊（柱の曲げ破壊と
ビス接合部の集合型破壊）



写真 14 No.⑧の終局の様子



写真 15 No.⑧の破壊(合板の土台へのめり込み)



写真 16 No.⑧の破壊 (ほぞの破壊)



写真 17 No.⑨の破壊 (柱の曲げ破壊)